

GGOS と日本における取組 GGOS and contributing efforts in Japan

松坂 茂^{1*}
MATSUZAKA, Shigeru^{1*}

¹ 日本測量協会
¹ Japan Association of Surveyors

国際測地学協会 (IAG) が推進する GGOS (全球統合測地観測システム) について紹介するとともに、日本における取組の現状と今後の展望を述べる。GGOS は、宇宙測地技術を中心とした全球的な測地観測システムを構築してすべての地球関連科学の基盤を与え、測地学的知見をもって地球変動に関する課題や社会からのニーズに貢献することを目的としている。日本においても 2013 年に GGOS ワーキンググループが誕生し、中核的観測局の構築や機関間連携の強化をめざして活動を始めた。

キーワード: GGOS (全球統合測地観測システム), 宇宙測地技術, GGOS 中核局
Keywords: GGOS (Global Geodetic Observing System), Space geodetic techniques, GGOS Core Sites

グローバルな測地基準座標系 (GGRF) に関する国連総会決議と今後の展望 The United Nation General Assembly resolution on Global Geodetic Reference Frame (GGRF) and the future vision

宮原 伐折羅^{1*}
MIYAHARA, Basara^{1*}

¹ 国土地理院測地部物理測地課
¹ Geospatial Information Authority of Japan

国連地球規模の地理空間情報管理に関する専門家委員会 (UNCE-GGIM) は、グローバルな測地基準座標系 (GGRF) がグローバルに正確な位置の基準を与えるために社会、経済、科学において不可欠なインフラであることをかんがみて、2013年7月の第3回会合にて GGRF を継続的に維持するための国際連携を推進する国連総会決議を目指すこととした。UNCE-GGIM が設置したワーキンググループ (WG) によって、国連総会決議案のドラフトが作成され、2015年の早い時期に、国連総会決議が採択される見通しである。

国土地理院は、UNCE-GGIM の一員として、当初から WG のメンバーに加わり、決議案の作成に貢献するとともに、持続可能な GGRF を構築・維持するためのロードマップの作成に参加している。発表では、決議が行われた背景とその意義を解説し、GGRF の維持に向けた現在の活動と今後の展望を報告する。

キーワード: 国連総会決議, 測地基準系, UN-GGIM, 国連地球規模の地理空間情報管理に関する専門家委員会, グローバルな測地基準座標系

Keywords: The United Nation General Assembly resolution, geodetic reference frame, UN-GGIM, The United Nations Committee of Experts on Global Geospatial, Global Geodetic Reference Frame

衛星海面高度計による高精度海面力学高度計測 Precise ocean dynamic topography measurements by satellite altimetry

磯口 治^{1*}
ISOGUCHI, Osamu^{1*}

¹(一財) リモート・センシング技術センター
¹Remote Sensing Technology Center (RESTEC)

A satellite altimeter is an instrument to measure a distance between the satellite and ocean surface from propagating delay time between transmitting and receiving pulse of a microwave. A sea surface height (SSH) with respect to a reference ellipsoid is then derived by determining satellite orbit precisely.

Satellite altimetry started observations since Seasat satellite launched in 1978 after the experimental operation of GEOS-3. At the time, since the accuracy of orbit determination exceeded several tens of centimeters, which is larger than an ocean-dynamic related signal of 10 cm, Seasat had a limitation to detect ocean dynamic topography. On the other hand, it provided valuable information to improve bathymetry and geoid as SSH variance induced by them exceeds an order of meters.

The launch of TOPEX/POSEIDON (T/P) in 1992 brought significant changes to oceanography. It was carefully designed to enable precise ocean dynamic topography measurements: it carried a dual frequency altimeter to evaluate ionospheric path delay and its altitude was set high for rapid changes of gravity fields not to affect orbit determination. These preparations resulted in improving a measurements accuracy of 2-3cm and T/P yielded many oceanic findings such as the distribution and propagation of mesoscale eddies. In addition, altimeters revealed global sea level rise (3mm/year) and its regional distribution, which are not an initial scope of altimetry mission, thanks to continual operations by several altimeters and careful cal/val activities. In the present, the precision of orbit determination drastically improves reaching up to 1 cm due to the improvement of geoid models by altimeters themselves and other gravity missions.

The next target of satellite altimetry is improving spatio-temporal resolution. Even if the current altimeter observes SSHs at a 7km interval, its measurements are only along satellite tracks and zonal intervals between adjacent tracks reach up to several tens and several hundreds of kilometers in the mid- and low-latitudes. It has also been reported that effective spatial resolution of along-track SSHs is roughly 100km due to an instrumental noise. Thus the current altimeters can't detect relative fine spatial phenomena such as coastal and submesoscale (10-100km) SSH variations. In order to tackle these problems, state-of-art satellite altimeters use high frequency (ka-band) microwave to improve footprints and/or have a function of 'SAR mode' to improve along-track spatial resolution (250m). The next-generation wide-swath altimeters, which observing concept is different from traditional nadir-type one, are also planned by NASA/CNES and JAXA named as SWOT and COMPIRA, respectively. They can measure 2-D SSHs based on an interferometric technique using two SAR antennas to be mounted. They are expected to depict ocean phenomena which spatial scale is less than 100km and drive greater innovation since the T/P era.

キーワード: 衛星海面高度計, 海面力学高度
Keywords: Satellite altimetry, Ocean Dynamic Topography

GGOS 時代に向けた宇宙測地解析戦略 Strategies for Space Geodetic Data Analysis in the Coming GGOS Era

大坪 俊通^{1*}; ホビガー トーマス²; 関戸 衛³; 久保岡 俊宏³
OTSUBO, Toshimichi^{1*}; HOBIGER, Thomas²; SEKIDO, Mamoru³; KUBOOKA, Toshihiro³

¹一橋大学, ²Chalmers University of Technology, ³情報通信研究機構

¹Hitotsubashi University, ²Chalmers University of Technology, ³National Institute of Information and Communications Technology

GGOS (Global Geodetic Observing System) の掲げる汎地球規模での位置・重力・回転の高精度決定を実現するため、中～長期的に採るべき解析のあり方について、考える必要がある。

特に、数値目標とされている位置精度 1 mm および速度精度 0.1 mm/year での地球基準座標系の構築については、乗り越えるべき課題が多い。特に、複数の宇宙測地技術について、それぞれの特長を生かした統合的な解析が求められている。例えば、

- ・地上局の動きはもとより、人工衛星や準星の動きまで正確にモデル化すること
 - ・解を比較・統合すること
 - ・地上であるいは衛星上における、異種データ中の共通パラメータを抽出すること
 - ・解析結果から観測体制への要求を行うこと
 - ・利用者にとっての使いやすさを求め、利用者との整合性を保つこと
- などについて、具体的な事例とともに紹介する。

キーワード: GGOS, 宇宙測地

Keywords: GGOS, Space Geodesy

ITRF realization とプレート境界域が抱えている課題 Realization of ITRF and Problems in Plate Boundary Zone

島田 誠一^{1*}
SHIMADA, Seiichi^{1*}

¹ 防災科学技術研究所
¹ NIED

現代測地学において、地球の形とその時間変化は、宇宙測地技術観測点の ITRF (国際地心座標系) による精密な座標値として与えられる。

GNSS (全地球航法衛星システム) 観測も、例えば IGS (国際 GNSS 機構) のグローバルな連続観測網による観測結果が ITRF モデル確立に寄与しているが、GNSS 観測技術の現代測地学における最も重要な役割は、ITRF realization (ITRF 座標値の実現) である。地球上のどこでも、比較的安価な GNSS 受信機で GNSS 衛星電波を観測して、ITRF 精密座標値が精度よく求められている近くの GNSS 座標基準点の観測データとともに解析することにより、正確な ITRF 座標値を求めることができる。これが現代測地技術における ITRF realization である。

このように、宇宙測地技術によって ITRF モデルを確立することと、GNSS 受信機によって地球上のどこでも精密な ITRF 座標値が得られること (ITRF realization) とが、現代測地学において車の両輪の役割を果たしている。

本講演では、ITRF realization の障害となるもっとも大きな問題である巨大地震による地震時及び地震後の変動についても取り上げる。地震時及び地震後の変動は、特にプレート境界域にある GNSS 座標基準点の、任意の時点における精密座標値を与えることを非常に困難にする。

例えば、2011 年東日本大地震では日本周辺の IGS 座標基準点である TSKB (つくば)・MTKA (三鷹)・YSSK (ユジノサハリンスク)・DAEJ (韓国・大田)・SUWN (韓国・水原) が地震時及び地震後に非常に大きく変動し、その座標値は急激にしかも大きく変動した。特に TSKB 観測点は長年 IGS 観測網の重要なコアサイトの一つであったが、1m 近い変動を記録した。このため、東アジアにおいては東日本大地震後に広い範囲で ITRF 座標基準点の空白域が生じた。

もう一つの例として、2004 年スマトラ沖地震についても取り上げる。この地震では当時インドシナ地域における唯一の IGS 座標基準点であったシンガポールにある NTUS 観測点が地震時及び地震後に非常に大きく変動したために、この観測点を ITRF 座標基準点として利用することができなくなった。地震後の変動は 10 年後の現在もまだ顕著に続いており、このためにいまだにインドシナ地域は ITRF 座標基準点の空白域となっている。

キーワード: 世界測地座標系, Realization of ITRF, GNSS, 巨大地震, プレート境界域
Keywords: ITRF, Realization of ITRF, GNSS, Huge earthquakes, Plate boundary zone

2012-2014年における地球重心と回転極の移動傾向の急変 Abrupt changes in drift trend of the earth's geocenter and rotational pole in 2012-2014

松尾 功二^{1*}; 大坪 俊通²; 宗包 浩志¹; 日置 幸介³
MATSUO, Koji^{1*}; OTSUBO, Toshimichi²; MUNEKANE, Hiroshi¹; HEKI, Kosuke³

¹ 国土地理院, ² 一橋大学, ³ 北海道大学

¹GSI of Japan, ²Hitotsubashi University, ³Hokkaido University

地球重心(質量の中心)と回転極(自転軸と地表との交点)の位置は、地球の表層及び内部で起こる質量の再分配によって絶えず動いている。このような重心と極の移動は、球面調和重力場の次数1と2の成分の時間変化から計算することができる。それゆえ、Satellite Laser Ranging (SLR) による低次重力場観測によって高精度に推定することができる。本研究では、SLR解析をもとに重心移動と極移動の近年の傾向について調査する。解析には、一橋大学と情報通信研究機構が共同で開発を進める宇宙測地データ解析ソフトウェア“c5++”を使用する。6つのSLR衛星(LAGEOS1&2, STARLETTE, AJISAI, STELLA, LARES)のデータ群を使用し、1994-2014年までの重心移動及び極移動を導いた。ここでは、1994-2002年、2003-2011年、2012-2014年の3つの期間における線形的な傾向変化について議論する。

まずは、1994-2002年における平均的な移動速度と方向を見る。ここでは、重心移動を(年平均速度, 経度方向, 移動方向)、極移動を(年平均速度, 経度方向)で表現する。得られた結果はそれぞれ、重心移動は(0.5mm/yr, -26°, 59°)、極移動は(1.3mm/yr, -73°)、となった。これは、重心がアイスランド南海域の方向へ動き、極が西シベリアの方向へ動いていたことを意味する。極移動に関しては、VLBI等から計測されたEOPsデータとも調和的であった。これらの移動は主に、北米大陸・スカンジナビア半島・南極で起こる地殻の粘弾性的隆起(後氷期回復)によって引き起こされていたと考えられる(e.g. Wahr et al., 1993; Greff-Lefftz, 2000)。

次に、2003-2011年を見る。重心移動は(0.8mm/yr, 111°, -61°)、極移動は(5.4mm/yr, 14°)という結果が得られた。これは、重心が西南極の方向へ動き、極がアラスカの方向へ動いていたことを意味する。1994-2002年と比べると、重心移動については、速度が約1.5倍の増加、仰角は南北に反転、方位角は約135°の転換、極移動については、速度が約4倍の増加、方位角は約90°の転換である。このような傾向変化は、2000年頃から始まった極域氷床の大規模な消長によって良く説明できる(e.g. Chen et al., 2013; Dong et al., 2014)。

最後に、2012-2014年に着目する。重心移動は(3.4mm/yr, -84°, 44°)、極移動は(8.9mm/yr, -62°)を示した。これは、重心が北米大陸の方向へ動き、極が西シベリアの方向へ動いていたことを意味する。2003-2011年と比べると、重心移動は、速度が約4倍、方位角・仰角はほぼ反転、極移動は、速度が約1.6倍、方位角は約75°変化している。

2012-2014年における顕著な傾向変化の原因を特定するため、重力衛星GRACE、陸水モデルGLDAS、非潮汐起源の大気・海洋モデルAOD1Bを用いた検証を行った。なお、GRACEデータを用いる際は、SLRデータとの独立性を保つため、力学的扁平項の置き換えは行わず、重心項については海洋モデルから推定された結果(Swenson et al., 2008)を使用した。その結果、観測された重心移動と極移動の急変は、グリーンランド氷床の消失速度が2012年秋以降に急減速していたことに起因することが明らかになった。グリーンランド氷床の消失速度は、2003-2012年では年平均約300Gtであったが、2012年秋以降は年平均約30Gtで約10分の1の速度になっていた。なお、南極氷床には、大きな変化が見られなかった。このような急速な質量均衡の崩れが、地球重心を北半球へと動かし、極をグリーンランドから遠ざかる方向へと動かしたものと推測される。

キーワード: Satellite Laser Ranging, 重心移動, 極移動, 気候変動, GGOS

Keywords: munekane-h96nu@mlit.go.jp, Geocenter motion, Polar motion, Climate change, GGOS

GGOS 網と南極・昭和基地 GGOS Network and Syowa Station, Antarctica

渋谷 和雄^{1*}; 土井 浩一郎¹; 青山 雄一¹
SHIBUYA, Kazuo^{1*}; DOI, Koichiro¹; AOYAMA, Yuichi¹

¹ 国立極地研究所

¹National Institute of Polar Research

GGOS is one of the principal components of GEOSS. GGOS network station is defined to be equipped with DORIS, GNSS, VLBI and SLR at the same site. Although Syowa Station (SY) does not have SLR, operation of other instruments has been continuing for 15 years. Other than space geodesy programs, precise gravimetry and tidal observations have been done at the same site. I present mainly history of these observations and briefly describe perspective for future developments.

Geographically Syowa Station is located at 39°35' E, 69°00' S, in East Ongul Island at the mouth of Lutzow-Holm Bay, Eastern Antarctica. Geologically it is placed on the bedrock of metamorphic granitic gneiss of 500 myr in age. Sedimentary layer which induces unfavorable groundwater effect does not exist; this provides very stable geodetic observation environments.

Japanese Antarctic Research Expedition (JARE) is a long-term national project. NIPR organizes geodesy/geophysics program with one (+1-2 depending on season) winter-over geophysicist from NIPR, one summer-season surveyor from GSI, and one summer-season hydrographer from JHOD, every year for the maintenance including the above facilities.

Modern facility installation actually started from 1990 (JARE-32) by the construction of the gravity observation hut (GOH), and ended in 1997 (JARE-39) at the start of the regular VLBI observation. After this first-epoch, there were step-wise progresses to strengthen Syowa status every 7 year. To realize installation/start of SLR observation, now is a planning stage. We present history and current of each component below.

VLBI: Construction of an 11 m S/X band antenna, and installation of a front-end (including 22GHz) was made in 1989. Preliminary experiment between Syowa, Tidbinbilla and Kashima was made by CRL in 1990. Integration of a K4 back-end and H-maser was made in 1997. The first regular VLBI experiment (1998) was SYW. Syowa participated in the OHIG session under the coordination of IVS in 1999. Data processing has been done by the Bonn correlator afterwards. SYW session ended in 2004 and a K5 back-end was integrated.

Observation itself became a routine. Syowa-Hobart, Syowa-HartRAO, Syowa-O' Higgins baseline solutions have been obtained regularly without severe problems. In 2015 February, OHIG96 session was finished normally.

Syowa IGS SYOG: Syowa participated in the SCAR GPS campaign at SYOW (geodetic marker No.23-16) during 1993-1999. In 1995, a permanent pillar was constructed by GSI. Data acquisition is being made by a Dorn Margolin T antenna placed at 28.933 m above asl.

Sporadic outlier solutions appeared frequently until 1999 when rubidium frequency standard was used, but change from rubidium to cesium solved this problem dramatically. Formal registration to IGS network (named SYOG) was made in 1999. Near-real-time data transfer of 30 s sampling raw data via Intelsat link to GSI, and then to IGS Center was realized in 2004. 1 Hz sampling by dual Trimble NetRS is continuing from 2008.

Syowa DORIS SYPB: The first generation SYOB was installed on a 10 m pylon tower in 1991. The tower might have been declined gradually WSW under the prevailing ENE winds; the tower was broken down in May of 1998 by a heavy blizzard. The second-generation

SYPB on a concrete pillar was installed in Feb. 1999. It has the best stability (<3 mm) among the DORIS network (>40) stations. Replacement of the beacon transmitter was made twice until 2012.

SLR: To satisfy the GGOS requirements, JARE-57 which departs Japan this year (November 2015), will make feasibility study to install the SLR site. Because of optical instruments, SLR favors non-cloudy condition. The initial stage may be to perform observations for one month in the summer season when day-time is 24 hours and weather condition is mild. Preparation for winter-over observation to accumulate return shot counts to obtain sub-cm variability of the geo-center location is considered.

キーワード: 昭和基地, DORIS-SYPB, IGS-SYOG, IVS OHIG セッション, IAGBN(A) 点, SLR 点
Keywords: Syowa Station, DORIS-SYPB, IGS-SYOG, IVS OHIG session, IAGBN(A)#0417, SLR

石岡測地観測局におけるコロケーション測量 Local Tie Survey at the Ishioka Geodetic Observing Station

若杉 貴浩^{1*}; 川畑 亮二¹; 栗原 忍¹; 福崎 順洋¹; 黒田 次郎¹; 和田 弘人¹
WAKASUGI, Takahiro^{1*}; KAWABATA, Ryoji¹; KURIHARA, Shinobu¹; FUKUZAKI, Yoshihiro¹; KURODA, Jiro¹; WADA, Kojin¹

¹ 国土地理院

¹GSI of japan

国土地理院は、茨城県つくば市の北東 17km にある石岡市内に新たな測地観測施設 iGOS (石岡測地観測局) を建設中である。iGOS 敷地内には新たな VLBI アンテナ及び GNSS 連続観測点が完成し、重力観測点も今後建設する予定である。

アンテナを含む iGOS の VLBI 観測施設は、国際 VLBI 事業 (IVS) が提唱する新たな観測コンセプト VGOS に準拠している。VGOS は、GGOS の要求を満たすために位置精度 1mm 及び速度精度 0.1mm/yr、常時連続観測、24 時間以内の測地解算出を達成することを目標としている。

iGOS は、つくば局との精密な位置関係を確立した後、つくば局に代わって日本の測地基準系を構築・維持するという役割を引き継ぐことになる。この目的を達成するためには、複数字宙測地技術間の相互位置関係の測定も非常に重要となる。そこで、2015 年 1 月に VLBI アンテナの中心 (水平軸と鉛直軸の交点) と GNSS 連続観測点間の相互位置関係を求める測量 (コロケーション測量) を実施した。

今回、国土地理院が所有する他のアンテナサイトで実施してきたコロケーション測量用のピラーを用いた従来どおりの測定 (測角、測距、水準測量、GNSS 測量) に加え、アンテナ中心をより高精度に求めるための新たな測定も実施した。本発表では、iGOS の概要とコロケーション測量の初期結果について報告する。

世界の VGOS 整備の最新情報について Recent Status of the VGOS Network in the World

川畑 亮二^{1*}
KAWABATA, Ryoji^{1*}

¹ 国土交通省国土地理院
¹ GSI of Japan

国際 VLBI 事業 (IVS) では、GGOS を実現するため、VGOS (VLBI Global Observing System) とよばれる新たな VLBI 観測システムの整備を推進している。VGOS は、地球規模の観測局の位置決定精度 1mm 以内、観測局位置及び地球姿勢パラメータ (EOP) の常時連続観測、及び 24 時間以内の初期成果提供を目標にしている。

VGOS を実現するため、VLBI アンテナには、高速駆動 (毎秒 12 度) 及び広帯域受信 (2-14GHz) という性能が求められる。現在、4 か国において VGOS に準拠したアンテナが建設されており、新たに 7 か国で VGOS アンテナの整備計画がある。また、世界各国で VGOS に関連した各種実験が実施されている。

国土地理院では、2014 年 3 月、アジア地域では初めてとなる VGOS に完全準拠した新しい VLBI アンテナを茨城県石岡市に建設した。

本発表では、世界の VGOS の整備状況に関する最新情報を共有するとともに、石岡の VGOS アンテナの運用状況について報告する。

Keywords: VLBI, GGOS, VGOS

広帯域バンド幅合成について (その2) On a wide-band bandwidth synthesis II

近藤 哲朗^{1*}; 岳藤 一宏¹
KONDO, Tetsuro^{1*}; TAKEFUJI, Kazuhiro¹

¹ 情報通信研究機構

¹National Institute of Information and Communications Technology

1. はじめに

受信帯が 10GHz 以上にも跨る超広帯域 VLBI 観測データのバンド幅合成に関して検討を行なっている。現在バンド内の位相特性補正、バンド間の遅延補正および電離層遅延補正を含めたより具体的な処理方法について検討を行なっている。

2. バンド内位相補正

従来のバンド幅合成ソフトウェアのチャンネル間の位相補正に相当する補正がバンド内の位相補正である。ここでは一つのバンドの帯域として最大 2GHz 程度を考えている。従来のシステムと同様に位相校正信号をフロントエンド部から注入されるが、一般に 10GHz を超えるような高い周波数では位相校正信号の周波数特性が劣化してくる。こうした場合にも対応できるよう帯域内位相校正法としては以下の方式を考えている。

- 1) 強い電波源の相関データから直接帯域内位相特性の差を求め位相校正用データとする。
- 2) 帯域内の何点かの位相校正信号の時間変動を求め、1) で求める校正データの時間変動を補正する。

3. バンド間遅延補正

複数バンドを独立なサンプラーでサンプリングした場合は広帯域バンド幅合成において機器遅延を補正する必要がある。長基線の場合は電離層遅延と機器遅延の分離ができない。100 km 程度の基線長では電離層遅延の差は無視できると仮定すると以下の手順でバンド間遅延補正が可能と考えられる。

- 1) 強い電波源の遅延をバンド毎に独立に求めて、基準バンドに対する各観測遅延の差を求める。この際にバンド内の位相補正は行なっておく。
- 2) 広帯域バンド幅合成時に 1) で求めた遅延を補正する。この時、バンド間の位相差は 0 とする。
- 3) バンド幅合成後のクロススペクトルで各バンドの接続点での基準バンドに対する位相差を求める。
- 4) 1) で求めたバンド間遅延と 3) で求めた位相差を補正して広帯域バンド幅合成を再度行なう。

4. 電離層遅延の検出

電離層遅延は周波数の⁻²乗に比例するため周波数が低い程その寄与は大きくなる。低い周波数バンド(概ね 4 GHz 以下)では 2. で議論したバンド内位相補正にも影響を及ぼす。3. で議論したバンド間遅延にも影響を及ぼすことになる。この場合、以下に述べるような方法で電離層遅延を補正できないか検討を進めている。

- 1) あるスキャン(観測)での電離層遅延込でのバンド内位相補正およびバンド間遅延補正データを得る。
- 2) 別のスキャンでは 1) からの変位分を電離層遅延補正とみなして補正する。

5. おわりに

以上述べてきたように広帯域バンド幅合成時のバンド内位相補正、バンド間遅延補正、電離層遅延補正の具体的手法に関しての検討を進めている。短基線の場合については実データを用いての広帯域バンド幅合成にすでに成功している。講演では電離層遅延の検出も含めて報告予定である。

キーワード: ブイエルピーアイ, 広帯域バンド幅合成
Keywords: VLBI, wide-band bandwidth synthesis

GGOS 目標と衛星レーザ測距技術の課題 SLR technical issues and challenge confronting GGOS goal

國森 裕生^{1*}
KUNIMORI, Hiroo^{1*}

¹ 情報通信研究機構

¹National Institute of Information and Communications Technology (NICT)

GGOS の宇宙技術の一つ、SLR(Satellite Laser Ranging) は各技術の中で唯一光領域の電磁波を用いて、地球局から衛星までのフォトンの TOF (Time of Flight) すなわち距離の絶対値を直接測定するという原理をもつ。概念的にはストップウォッチのように簡単な計測に見える SLR において、GGOS の掲げる 局の位置精度 1 mm とその変動成分を 0.1 mm/y 精度で求めるという目標精度の高さから、これまで問題にならなかった誤差要因をあらためて精査しなければならない。局の位置精度と測距データの精度は完全に同値ではないが、システムに内在するあらゆるバイアスとその変動要因の総計を 1 mm, 0.1 mm/y 精度「以下」に抑えること、つまり各変動要因をサブミリオーダで校正するという新しい目標をめざす時代に入ったといえる。

国際レーザ測距事業 (ILRS) では、このような課題に対して定期的に国際会議やワーキンググループで議論の場を持ち課題を共有してきた。ここでは、SLR という望遠鏡やレーザなどが存在する地上局をイメージするが、ここではシステムとして、地上セグメント (その地上ネットワーク)、宇宙セグメント、およびその間の伝搬の場 (大気) があり、生産物である測距データへの確からしさへの影響と校正や診断方法の高精度化が議論されているが、本講演では地上局、そのネットワークの課題が中心となる。

校正方法のうちグローバルな SLR ネットワークが毎日生産するデータから軌道決定結果からえられる O-C から各局の各種バイアスを定期的に報告し警報を出すシステムがある。これらは SLR の日常の運用に大きな寄与をしている。地上局内のバイアス要因では、レーザ安定性、タイミング (クロック)、検知器の信号強度依存性、地上測距方法の課題を見出し、克服してきた。レーザ技術、エレクトロニクスの発展により、優秀な局では局内の精度はサブミリメートルを実現しているが精度はいまだ数 mm を満たさない局が多い。宇宙セグメントでは、1970 年台に設計された多数のコーナキューブを搭載した衛星は、cm オーダの測距精度目標では問題にならなかったが、現在では精度劣化の大きな要因となっている。これを mm オーダの CoM (衛星重心とレーザ反射点との校正) 克服するための議論がおこなわれてきた。これは、シングルキューブのパルス応答パルスとさらにシングルフォトンの検知器の採用とマルチフォトン受信器の特長が議論されている。さらに GGOS では各技術のコロケーションで各技術間のバイアスもモニターし系統誤差を除去するたまた、いわゆるローカルタイすなわち各技術基準点間の 3 次元位置をサブミリメートルで継続的に測定するという要求も生じている。講演では、GGOS に向け、技術的にも運用的にも新しいチャレンジ、日本と世界の現状をレビューする。

キーワード: 衛星レーザ測距, バイアス誤差, 校正
Keywords: SLR, bias error, calibration

GNSSの現状とIGSの活動 Present situation of GNSS and recent activities of IGS

古屋 智秋^{1*}; 鎌苅 裕紀¹; 万所 求¹
FURUYA, Tomoaki^{1*}; KAMAKARI, Yuki¹; MANDOKORO, Motomu¹

¹ 国土交通省国土地理院

¹GSI of Japan

現在、衛星測位システムの一つであるGNSSは、米国のGPSをはじめ、日本の準天頂衛星、ロシアのGLONASS、欧州連合のGalileo、中国のBeiDou等が存在し、各GNSS間の互換性や相互運用性を調整しつつ、整備、運用が進められている。

国際GNSS事業(IGS)では、それらGNSSを用いた国際基準座標系構築や測地学・地球物理学研究等の活動支援を目的として、関係機関の協力に基づき、観測ネットワークの構築や観測データの提供、精密軌道情報・地球回転パラメータ等の計算・提供等を行っており、GNSSを用いた高精度な測位には、必要不可欠な組織となっている。また、IGSは既に配備が完了しているGPSとGLONASSを正式なサービスとしていたが、2011年からGPSとGLONASS以外のGNSSを観測・収集・解析を行うMulti-GNSS Experiment(MGEX)を開始し、マルチGNSSに関する研究を進めており、ここ数年のうちにMGEXをパイロットサービスに移行することが計画されている。さらに、IGSは2013年からリアルタイムパイロットサービスを行っており、リアルタイムで提供される世界中の観測データや衛星の精密な軌道・時計情報は、精密単独測位(PPP)や災害監視のようなアプリケーションに利用することができる。

キーワード: GNSS, IGS

Keywords: GNSS, IGS

GGOSにおけるDORISの寄与 Contribution of DORIS to GGOS

青山 雄一^{1*}; 土井 浩一郎¹; 渋谷 和雄¹; 植田 勲²; 福崎 順洋²
AOYAMA, Yuichi^{1*}; DOI, Koichiro¹; SHIBUYA, Kazuo¹; UEDA, Isao²; FUKUZAKI, Yoshihiro²

¹ 国立極地研究所, ² 国土地理院

¹National Institute of Polar Research, ²Geospatial Information Authority of Japan

衛星の軌道や地上局の位置を精密に決定するための宇宙測地技術のひとつであるが、日本ではなじみの薄い DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite) について紹介する。DORIS は、高度計などの人工衛星に搭載した受信装置と、地上の電波ビーコンで構成され、衛星で受信した電波のドップラーシフトから 1-2cm の精度で人工衛星軌道と地上局の位置を決定できる。1986 年以降、CNES (Centre National D'Etudes Spatiales) と IGN (Institut national de l'information géographique et forestière) により展開され、現在は IDS (国際 DORIS 事業) の国際観測網として位置づけられている、全球に均質に分布した約 60 の地上局ネットワークは、他の宇宙測地技術にはない特色であり、地球基準座標系の構築にも貢献している。そのため、GGOS (全球統合測地観測システム) の観測項目に含まれている。

DORIS の地上局システムは、屋内の 2 周波 (2036.25 MHz と 401.25 MHz) ビーコン、周波数安定装置、UPS、Iridium を介したリモート制御装置、ならびに屋外の無指向アンテナ、気象測器 (気圧、気温、湿度) からなる。観測は自動化されており、維持、管理、運用のしやすい装置である。にも関わらず、国内には地上局がないため、前述の通り、日本ではなじみが薄い。そこで、日本が運用している唯一の DORIS 地上局がある、南極昭和基地を例に、DORIS システム、実際の運用、他の宇宙測地技術とのコロケーションなどを紹介する。

キーワード: DORIS, IDS, GGOS

Keywords: DORIS, IDS, GGOS

同一ビーム内の複数静止衛星の VLBI 観測について (その2) VLBI observation of multi-geostationary satellites in a same antenna beam II

近藤 哲朗^{1*}; 市江 泰英²; 佐藤 英治²
KONDO, Tetsuro^{1*}; ICHIE, Yasuhide²; SATO, Eiji²

¹ 情報通信研究機構, ² スカパー JSAT 株式会社

¹National Institute of Information and Communications Technology, ²SKY Perfect JSAT Corporation

1. はじめに

VLBIによる静止衛星観測において同一ビーム内に複数の静止衛星が入った場合、今までの処理システムでは個々の衛星を分離することができなかった。そこで、こうした場合においても個々の衛星ごとの遅延データが得られるよう相関処理ソフトウェアおよび遅延決定ソフトウェアを改修した。室内実験および実観測データを用いて改修結果の検証を行い期待通りの結果が得られることを確認した。

2. ソフトウェアの改修

NICT開発のソフトウェア相関器(K5相関処理ソフトウェア)は測地VLBIシステム用に開発されたソフトウェア相関器であり、測地VLBIにおいて受信する準星などのような白色雑音電波の処理を前提としたものであり、静止衛星からの電波のような複数の狭帯域信号を受信した場合には広帯域白色雑音信号を受信した場合の相関関数とは異なる性質を有した相関関数となる。遅延時間を決定する際の「遅延分解関数」と呼ばれる関数は櫛の歯状となり、単一の静止衛星の場合は得られる遅延は測地VLBIにおけるいわゆる「バンド幅合成」の場合と同様なアンビギュエティを伴った遅延となる。複数の静止衛星からの信号を受信した場合は遅延分解関数は複数の衛星に対する関数が合成されたものとなり分離が不可能である。しかしながら、衛星ごとに信号の周波数が異なっていれば相関処理時または遅延分解関数計算時にフィルタリングにより単一の静止衛星からの信号だけを抜き出すことにより衛星ごとに分離することが可能となる。そこで相関処理ソフトウェアおよび遅延決定ソフトウェアにフィルタリング処理機能を実装し、更に遅延決定ソフトウェアには櫛の歯状となった遅延分解関数の包絡線補間による遅延決定機能も実装した。

相関処理時のフィルタリングの実装法として時系列上でのフィルタリングと周波数領域でのフィルタリングの2種が可能である。ここでは実装が容易で簡単に特性を変更できる周波数領域でのフィルタリングを採用した。遅延決定ソフトウェアにおけるフィルタリングも周波数領域において行なっている。

3. 機能の検証

改修されたソフトウェアが期待通りの機能を有しているかどうかの検証を行うために室内実験データおよび実観測データを使用して処理を行なった。室内実験は4台の信号発生器(SG)を2台ずつペアで用いて2つの静止衛星(それぞれから2周波数で送信)を模した。SG4台からの信号を混合してサンプラーの4ch入力の内の2つのチャンネルに入力するがそれぞれのチャンネル間のケーブル長を2つの静止衛星を模したSGペアの間で差を持たすことにより衛星間の遅延を与えた。こうして得られたサンプリングデータを相関処理時にフィルタリング処理を行う方法と遅延決定時にフィルタリング処理を行う方法で処理した。その結果どちらの方法でもケーブル長差から期待される衛星ごとの遅延が求められた。実観測データにも適用した結果良好な結果が得られることが確認された。更に実データを用いて包絡線補間法による遅延決定結果と補間なしの場合とを比較した。その結果、両者の差に数100nsecにおよぶ日変動が見られたが、補間なしとありの場合でどちらの方法が良いのかを評価するためには実際に軌道決定まで行う必要がある。

4. まとめ

複数の静止衛星からの信号が受信されたデータからそれぞれの衛星ごとの遅延を決定するために、相関処理ソフトウェアおよび遅延決定ソフトウェアにフィルタリング機能を実装した。更に遅延決定ソフトウェアには櫛の歯状となった遅延分解関数の包絡線補間から遅延を決定するオプションも実装した。改修したソフトウェアを室内実験および実観測データに適用した結果、期待通りの結果が得られることが確認された。遅延決定ソフトウェアに実装した包絡線補間法に関してはその結果が妥当かどうかは今後の軌道決定成果に委ねられる。

キーワード: ブイエルビーアイ, 静止衛星

Keywords: VLBI, geostationary satellite